



"مقاله پژوهشی"

برآورد نفوذ آب به خاک در کاربری‌های مختلف در حوزه آبخیز مرغملک و شهرکرد

سمیرا مصری<sup>۱</sup>، شجاع قربانی دشتکی<sup>۲</sup>، حسین شیرانی<sup>۳</sup>، ابوالقاسم کامکار روحانی<sup>۴</sup> و حمیدرضا متقیان<sup>۵</sup>

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد (نویسنده مسؤل: dorsa\_mesry@yahoo.com)

۲- استاد گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳- استاد گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه رفسنجان

۴- دانشیار دانشکده مهندسی معدن، ژئوفیزیک و نفت، دانشگاه صنعتی شاهرود

۵- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

تاریخ دریافت: ۹۸/۵/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۲۳

صفحه: ۱۴۴ تا ۱۵۴

چکیده

از مهم‌ترین پارامترهای هیدرولیکی موثر بر کیفیت خاک، نفوذ آب به خاک است که اندازه‌گیری آن دشوار، زمان‌بر و پرهزینه می‌باشد. مدل‌های نفوذپذیری، نقش مهمی در مدیریت حوزه آبخیز دارند. بنابراین، بررسی مدل‌های مختلف نفوذ به منظور مقایسه و دستیابی به برترین مدل نفوذ در منطقه امری ضروری است. این تحقیق با هدف یافتن مناسب‌ترین مدل برآورد نفوذ، با استفاده از روش تک استوانه (به قطر داخلی ۳۵ سانتی‌متر) در کاربری مرتع، باغ و کشاورزی (در دو بافت سیلتی کلی لوم و کلی لوم) در استان چهارمحال و بختیاری (حوزه آبخیز مرغملک و شهرستان شهرکرد) انجام شد. رطوبت اولیه اندازه‌گیری شده در کاربری مرتع در بافت‌های سیلتی کلی لوم و کلی لوم به ترتیب (۳/۷۱، ۴/۲۷)؛ کاربری باغ (۲/۱۸، ۳/۴۶) و در کاربری کشاورزی (۱، ۲/۲۵) بودند. مدل‌های فیلیپ، کوستیاکوف و سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) با استفاده از شاخص‌های ضریب تبیین، ضریب کارایی نش-ساتکلیف و جذر میانگین مربعات خطا مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در کاربری مرتع، تمام پارامترهای نفوذ (نفوذ تجمعی، سرعت نفوذ نهایی و متوسط سرعت نفوذ)، کمتر از کاربری‌های باغ و زراعت است. همچنین در مورد مقایسه مدل‌ها، در کاربری‌های کشاورزی، مرتع و باغ هر سه مدل دارای ضریب تبیین و ضریب کارایی بالا بوده‌اند، اما کوستیاکوف با ضریب کارایی نش ساتکلیف ۰/۹۹ و ضریب تبیین ۰/۹۹ و خطای کمتر نسبت به سایر مدل‌ها، به‌عنوان مدل مناسب در کاربری باغ و مرتع و کشاورزی (در هر دو بافت) مورد پذیرش واقع شد، پس از آن مدل فیلیپ با ضریب نش ساتکلیف و ضریب تبیین ۰/۹۹ و خطای (۰/۱۵) در کاربری باغ در بافت سیلتی کلی لوم (SCL) و مدل سازمان حفاظت آمریکا در کاربری مرتع (بافت SCL) با خطای (۰/۱۸) دارای کارایی بالایی بودند.

واژه‌های کلیدی: تک استوانه، سازمان حفاظت آمریکا، فیلیپ، کاربری اراضی، کوستیاکوف، نفوذ

مقدمه

این است که بر اساس قوانین فیزیکی وضع شده‌اند و با دانستن برخی خصوصیات فیزیکی خاک، معادله نفوذ قابل تعیین می‌باشد. شیوه دوم استفاده از روابط تجربی از قبیل کوستیاکوف (۱۳) و هورتون (۱۱) است. تأثیر گرفتن از شرایط زمانی، مکانی و نارسایی پارامترهای معادلات در تبیین مفاهیم فیزیکی از نقص‌های عمده این گونه معادلات است (۱۹). در مقایسه بین مدل‌های فیزیک-پایه و تجربی مشخص شده که معادلات فیزیکی جزئیات نفوذ را نسبت به معادلات تجربی بهتر نشان می‌دهند (۱۶). در زمینه فرآیند نفوذپذیری در ایران و سایر نقاط جهان، پژوهش‌های مختلفی انجام گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: لشنی زند و همکاران (۱۴)، به‌منظور مدیریت اراضی مرتع و جنگل در استان لرستان مدل‌های نفوذ را مقایسه و بیان نمودند که در کاربری مرتع، مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا و در کاربری جنگل، مدل فیلیپ، برترین مدل‌ها برای برآورد نفوذپذیری می‌باشند. در مطالعه‌ای دیگر، قربانی دشتکی و همکاران (۸)، مدل‌های کوستیاکوف و فیلیپ را در تیمارهای مختلف مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند، مدل فیلیپ با ضریب تبیین ۹۹ درصد در زمین‌های پوشیده از گراس، نسبت به مدل کوستیاکوف با ضریب تبیین ۹۷ درصد مدل برتری بوده، همچنین در زمین‌هایی تحت کودهای آلی، مدل فیلیپ با ضریب تبیین ۹۹ درصد در مقایسه با مدل کوستیاکوف با

مهم‌ترین منبع تامین‌کننده آب برای ادامه حیات گیاهان نفوذ آب به خاک است که همچنین نقشی بسیار مهم در چرخه آبی در طبیعت ایفا می‌نماید (۳۲). کمی کردن پدیده نفوذ آب به خاک در مدیریت حوزه‌های آبخیز همواره مورد توجه بوده است (۲۰). به منظور کمی کردن نفوذ آب به خاک از نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ متوسط و لحظه‌ای استفاده می‌شود. مقدار آبی که در یک دوره زمانی مشخص در خاک نفوذ می‌کند نفوذ تجمعی و میانگین سرعت وارد شدن آب به داخل خاک را طی یک دوره زمانی، متوسط سرعت نفوذ آب به داخل خاک در یک لحظه معین از زمان را سرعت نفوذ لحظه‌ای گویند (۲۱). میزان نفوذ آب به خاک تابع عوامل مختلفی از جمله رطوبت خاک (۱۸)، اندازه و میزان خلل و فرج خاک (۳۵) و خصوصیات لایه‌های خاک و سازندهای زمین‌شناسی هستند که میزان رواناب و مولفه‌های بیلان آب حوزه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند (۱). اهمیت فرآیند نفوذ سبب گردیده است، مدل‌های فیزیک-پایه و تجربی گوناگونی به منظور کمی نمودن آن ارائه گردد (۳۳، ۲). مدل‌های فیزیک-پایه با استفاده از قوانین و روابط اثبات شده مانند قانون بقای جرم و قانون بقای انرژی و تلفیق آن‌ها و دستیابی به یک سری معادلات ریاضی مانند فیلیپ (۲۲) و گرین آمپت (۹) به‌دست آمده‌اند. مهم‌ترین حسن این معادلات

روش نمونه‌های دست‌نخورده در آزمایشگاه اندازه گرفتند. مصری و همکاران (۱۸) هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را با استفاده از تک‌استوانه در ۶ بافت برآورد و بیان نمودند هدایت هیدرولیکی به‌دست آمده در مناطق مختلف متفاوت و با ویژگی‌های ساختاری و ژئوفیزیکی ارتباط نزدیک‌تری دارد. ایشان با حذف برخی ویژگی‌های شیمیایی نظیر اسیدیته، شوری و جایگزینی آن‌ها با مقاومت نفوذ به ریشه و برخی ویژگی‌های ژئوفیزیکی تخمین مناسب‌تر با درصد خطای کمتری از هدایت هیدرولیکی ارائه دادند. باگارلو و اسگوری (۳) هدایت آبی اشباع را با دو روش بار افتان ساده‌سازی شده و تک‌استوانه در یک خاک لوم شنی اندازه‌گیری نمودند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که هدایت آبی اشباع به‌دست آمده از روش بار افتان ساده‌سازی شده مشابه روش تک استوانه می‌باشد.

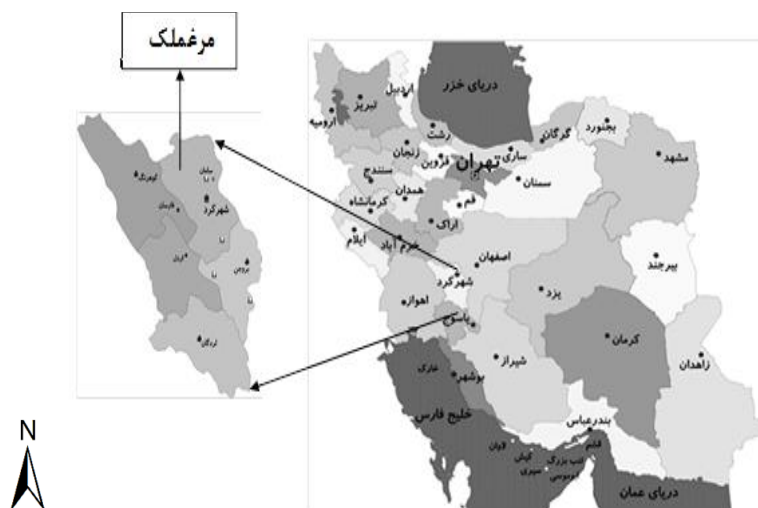
نتایج تحقیقات انجام شده با روش‌ها و در مکان‌های مختلف نشان می‌دهد که مدل‌های نفوذ برگزیده شده در پژوهش‌های مختلف با توجه به مکان و شرایط متفاوت می‌باشد. حاتمی گل‌مکانی و همکاران (۱۰) بیان نمودند که نتایج اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی بسته به هدف پژوهش، بافت و ساختمان خاک، شرایط منطقه مورد مطالعه، امکانات در دسترس و روش‌های مختلف تحلیل داده‌های به‌دست آمده بسیار متفاوت خواهد بود. بنابراین با توجه به ضرورت تعیین نفوذ در مطالعات هیدرولوژی و برنامه‌ریزی مدیریت آب و از آنجایی که هر مدل در شرایط خاص بهترین برآزش را با داده‌های تجربی دارد، در این پژوهش، ارزیابی مدل‌های نفوذ کوستیاکوف، سازمان حفاظت خاک آمریکا و فیلپ به‌منظور انتخاب مدل مناسب در برآورد نفوذ جمعی به‌عنوان هدف اصلی، مدنظر قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در حوزه آبخیز مرغملک و شهرستان شهرکرد، واقع در استان چهارمحال و بختیاری انجام شد. زیرحوضه مرغملک از زیر حوضه‌های زاینده‌رود با مساحت ۹۷ کیلومترمربع در ۵۵ کیلومتری شمال غرب شهرستان شهرکرد (مرکز استان چهارمحال و بختیاری) قرار دارد. زیرحوضه مرغملک در محدوده جغرافیایی، عرض  $30^{\circ} 22' 32''$  و طول  $50^{\circ} 22' 30''$  تا  $50^{\circ} 34' 30''$  شهرکرد قرار دارد. بارش متوسط سالیانه ۴۰۰ میلی‌متر است که بیشتر در زمستان و بهار اتفاق می‌افتد. دمای متوسط سالانه ۲۳ درجه سانتی‌گراد با میانگین حداقل ۳/۸ و میانگین حداکثر ۳۰/۷ درجه سانتی‌گراد است. شهرستان شهرکرد نیز دارای اقلیم نیمه‌مرطوب معتدل با تابستان‌های معتدل و زمستان‌های بسیار سرد است. میانگین دمای هوا در شهرکرد ۱۱/۵ درجه سانتی‌گراد است (مطالعه فرسایش و خاکشناسی حوزه مرغملک، ۱۳۷۲).

ضریب تبیین ۹۷ درصد، کارایی بهتری داشته است. برای خاک‌های لخت نیز مدل فیلپ با ضریب تبیین ۹۴ درصد نسبت به مدل کوستیاکوف با ضریب تبیین هفت درصد عملکرد بهتری داشته است. ملکی و همکاران (۱۷) با مقایسه مدل‌های نفوذ کوستیاکوف، فیلپ و سازمان حفاظت خاک در اراضی اهواز بیان نمودند که مدل سازمان حفاظت خاک با خطای متوسط ۱۱/۶ درصد در محاسبه حجم آب نفوذی از کارایی بیشتری نسبت به سایر مدل‌های نفوذ در منطقه مورد مطالعه برخوردار بوده است.

از روش‌های صحرایی معمول برای اندازه‌گیری هدایت آبی خاک می‌توان به روش‌های استوانه‌های چندگانه، تک استوانه، نفوذ سنج کلف و قرص یا نفوذسنج مکشی اشاره کرد (۲۱). پایه‌ی این روش‌ها، رسیدن به سرعت نفوذ شبه ماندگار آب در خاک می‌باشد (۲۵). یکی از روش‌های معمول در اندازه‌گیری نفوذ روش تک‌استوانه است. در این روش، فرض بر آن است که نفوذ آب به خاک از درون استوانه به‌صورت سه‌بعدی است و بر این اساس، جریان آب درون استوانه بر مبنای معادله ریچاردز حل شده و با حل آن بر اساس شرایط مرزی و اولیه‌ی اعمال شده، جریان یک بعدی شبیه‌سازی شده و سپس هدایت آبی اشباع عمودی خاک تعیین می‌گردد (۲۸). قربانی دشتکی و همکاران (۷) نفوذ آب به خاک را در منطقه تنگ نثار بن واقع در استان چهارمحال و بختیاری که دارای مراتع حفاظت شده و مراتع تخریب شده بود به‌روش تک‌استوانه‌ای (قطر ۳۰ سانتی‌متر) اندازه‌گیری کردند، نتایج نشان داد که میانگین نفوذ جمعی آب به خاک در مرتع حفاظت‌شده بیشتر از مقدار آن در مراتع تخریب شده بود. ایشان همچنین بیان نمودند که عملیات شخم و شیار و تخریب مرتع، یکی از دلایل کاهش نفوذ آب به خاک در مراتع تخریب شده نسبت به مراتع حفاظت شده باشد. زیرا در اثر عملیات شخم و شیار، ماده‌الی خاک برای تجزیه میکروبی سهل‌الوصول‌تر شده و در نتیجه ساختمان خاک تخریب و همچنین سخت لایه‌ای با نفوذپذیری کم در خاک‌رخ ایجاد می‌گردد. یمین مشرفی و همکاران (۳۶) با استفاده از دو روش استوانه‌های دوگانه و تک‌استوانه در سه قطعه زمین آزمایشی، و سه نمونه برای هر روش، نفوذ آب به خاک را اندازه‌گیری و مقایسه نمودند نتایج نشان دادند که بین این دو روش در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. لین و همکاران (۱۵) هدایت آبی اشباع را با استفاده از روش‌های تک‌استوانه، استوانه‌های دوگانه، نفوذسنج مکشی و نفوذسنج گلف اندازه‌گیری کردند. نتایج نشان داد که هدایت آبی اشباع اندازه‌گیری شده با استفاده از روش تک‌استوانه نسبت به سایر روش‌ها اختلاف معنی‌داری نداشته و می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب در اندازه‌گیری هدایت آبی خاک استفاده شود. رینولدز و همکاران (۲۷) هدایت آبی اشباع را در سه نوع خاک با بافت‌های شنی، متوسط و متوسط رسی با استفاده از روش‌های نفوذسنج قرص، نفوذسنج تک‌استوانه و



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه  
Figure 1. Location of study area

درجه به مدت ۲۴ ساعت، بودند.

#### اندازه‌گیری نفوذ آب به خاک

در این تحقیق به منظور اندازه‌گیری نفوذ آب به خاک از روش تک‌استوانه استفاده شد. در روش تک‌استوانه، استوانه‌ای به قطر داخلی ۳۵ سانتی‌متر تا عمق ۱۵ سانتی‌متر در خاک مستقر گردید و عمقی معادل ۱۲ سانتی‌متر آب ریخته شد. سپس سرعت ورود آب به خاک در استوانه تعیین گردید (۵). در این روش افت سطح آب در استوانه نسبت به زمان در یک تکرار سنجش می‌گردد و هرگاه تغییرات سطح آب در استوانه در واحد زمان در اندازه‌گیری‌های متوالی، مقادیر تقریباً یکسانی شد، به‌عنوان نفوذ پایه ( $q_s$ ) در نظر گرفته می‌شود و زمان رسیدن به نفوذ پایه محاسبه می‌شود (۲۲). در این پژوهش نفوذ آب به خاک در هر ۳ کاربری در دو بافت سیلتی‌کلی لوم (SCL) و کلی لوم (CL) با سه تکرار اندازه‌گیری شد (۱۸ بار نفوذ اندازه‌گیری گردید).

#### روش نمونه‌برداری

ابتدا نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شد. نقاط نمونه‌برداری به‌طور تصادفی بر روی محدوده مطالعاتی تعیین گردید. پس از تعیین مختصات جغرافیایی نقاط، موقعیت نقاط توسط دستگاه GPS در صحرا مشخص شد. سپس ۱۸ نمونه خاک از سه کاربری کشاورزی، باغ و مرتع با بافت‌های (سیلتی‌کلی لوم و کلی لوم) از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر با استفاده از بیلچه برداشته و به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری برای انجام آزمایش‌های خاک آماده شدند. آزمایش‌های انجام شده شامل بافت خاک به روش هیدرومتر با بایکس (۶)، کربن آلی با اکسیداسیون توسط دی‌کرومات پتاسیم (۳۴)، جرم مخصوص ظاهری نمونه‌ها با روش سیلندر با ابعاد معین و رطوبت خاک پس از وزن خاک بلافاصله پس از نمونه‌برداری و مقایسه آن با وزن خاک پس خشک‌کردن در آون ۱۰۵



شکل ۲- اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های آزمایشگاهی و نفوذ آب به خاک با استفاده از تک استوانه

Figure 2. Measurement of some laboratory characteristics and water infiltration into the soil using single ring

## مدل‌های نفوذ

به مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا معروف است. طبق معادله ۳ رابطه سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) بدین صورت می‌باشد:

$$I(t) = at^b + c \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه I مقدار نفوذ تجمعی از زمان شروع نفوذ (سانتی‌متر)، c عدد ثابت و برابر ۰/۶۹۸۵، t زمان از لحظه شروع نفوذ (دقیقه) و ضرایب a و b تابعی از شماره منحنی نفوذ هستند. مدل فیلیپ: یکی دیگر از مدل‌های نفوذپذیری، مدل فیلیپ است. در این مدل، مقدار نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ از رابطه ۴ محاسبه می‌گردد:

$$F(t) = St^{1/2} + Kt \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این معادله، S: ضریب جذبی خاک، K: هدایت هیدرولیکی بر حسب سانتی‌متر بر ساعت. و دو متغیر S و K در معادله فیلیپ به ترتیب نشانگر مکش خاک و اثر جاذبه می‌باشند. مدل‌های نفوذ آب به خاک و ضرایب آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

مدل کوستیاکوف: کوستیاکوف در سال ۱۹۳۲ رابطه تجربی (۱) را برای تعیین مقدار نفوذ تجمعی پیشنهاد کرد. اگر از این رابطه مشتق گرفته شود رابطه بعدی که مشتق می‌شود رابطه (۲)، برای محاسبه نفوذ لحظه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$I(t) = ct - a \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$i = (c/I - a) t^{1-a} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این روابط c و a ضرایب مختلفی برای خاک‌های مختلف بوده و مقدار c و a به ترتیب بزرگ‌تر از صفر و بین صفر تا یک می‌باشد و به روش تجربی تعیین می‌شود، t زمان و I میزان نفوذ در زمان t، I نفوذ تجمعی و i نفوذ لحظه‌ای است.

## روش سازمان حفاظت خاک آمریکا:

کارشناسان سازمان حفاظت خاک آمریکا در سال ۱۹۸۹ بر اساس مدل کوستیاکوف، آزمایش‌های زیادی در مزارع انجام داده اند که نهایتاً منجر به روشی در محاسبه نفوذ گردید که

جدول ۱- مدل‌های نفوذ آب به خاک و ضرایب آن‌ها

Table 1. Models of water infiltration into soil and their coefficients

نام مدل	معادله نفوذ	ضرایب
کوستیاکوف	$I = ct^a$	c و a
سازمان حفاظت آمریکا (SCS)	$I = at^b + c$	c b و a
فیلیپ	$I = St^{1/2} + kt$	K و S

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (Q_o - Q_s)^2} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o^2 - Q_s^2)}{\sum_{i=1}^n (Q_o^2 - Q_o)} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_s)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_s)^2} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در این روابط  $Q_s$  مقدار برآورد شده،  $Q_o$  مقدار مشاهده شده و Q میانگین مقادیر مشاهده شده و N تعداد داده‌های اندازه‌گیری نفوذ می‌باشد.

## نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در کاربری‌های مختلف در دو بافت (سیلتی کلی لوم و کلی لوم) در جدول ۲ آمده است.

نفوذ تجمعی توسط مدل‌های ارائه شده در جدول ۱ در نرم‌افزار curve expert (۲۴) به دست آمد و با مقدار واقعی به دست آمده در صحرا مقایسه گردید. سپس برای ارزیابی دقت مدل‌های نفوذ و انتخاب مدل مناسب در کاربری‌های کشاورزی، باغ و مرتع از پارامترهای آماری ضریب کارایی نش-ساتکلیف (Nash)، RMSE ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین استفاده شد. ریشه میانگین مربعات خطا، نشان‌دهنده اختلاف کلی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمینی می‌باشد رابطه (۵). از بین مدل‌های مذکور مدلی که از ضریب کارایی نش-ساتکلیف بالاتر و ریشه میانگین مربعات خطا کمتر برخوردار باشد به صورت مناسب‌ترین مدل انتخاب شد. مقدار کارایی مدل نیز نشان‌دهنده صحت برازش داده است و از منفی بی‌نهایت در بدترین حالت، تا یک در زمان برازش کامل داده‌ها تغییر می‌کند رابطه (۶).

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در کاربری و بافت‌های مختلف

Table 2. Some physical and chemical properties in different land uses and textures

کاربری‌ها	بافت‌ها	درصد رس	درصد شن	درصد سیلت	جرم مخصوص ظاهری (gr/kg)	درصد ماده‌الی	رطوبت جرمی اولیه خاک
کشاورزی	سیلتی کلی لوم (SCL)	۲۸	۲۰	۵۲	۰/۹۶	۲/۴۵	۱
	کلی لوم (CL)	۳۰	۲۴	۴۶	۱	۲/۰۳	۲/۲۵
باغ	سیلتی کلی لوم (SCL)	۳۰	۲۰	۵۰	۱/۱۴	۱/۸۴	۲/۱۸
	کلی لوم (CL)	۳۲	۲۲	۴۲	۱/۲۵	۱/۱۲	۳/۴۶
مرتع	سیلتی کلی لوم (SCL)	۳۲	۱۸	۵۰	۱/۵۸	۱/۲۴	۳/۷۱
	کلی لوم (CL)	۳۶	۲۲	۴۶	۱/۸۳	۱/۰۵	۴/۲۷

سرعت نفوذ نهایی و زمان تا لحظه تثبیت نفوذ، در کاربری‌ها در بافت‌های سیلتی کلی لوم (SCL) و کلی لوم (CL) محاسبه گردید که نتایج حاصل از آن در جدول ۳ آمده است.

به دلیل متفاوت بودن بسیاری از ویژگی‌های فرایند نفوذپذیری در کاربری و بافت‌های مختلف، برخی پارامترها از قبیل نفوذ تجمعی، متوسط سرعت نفوذ، حداکثر سرعت نفوذ،

جدول ۳- پارامترهای اندازه‌گیری نفوذ در کاربری‌های مختلف در دو بافت

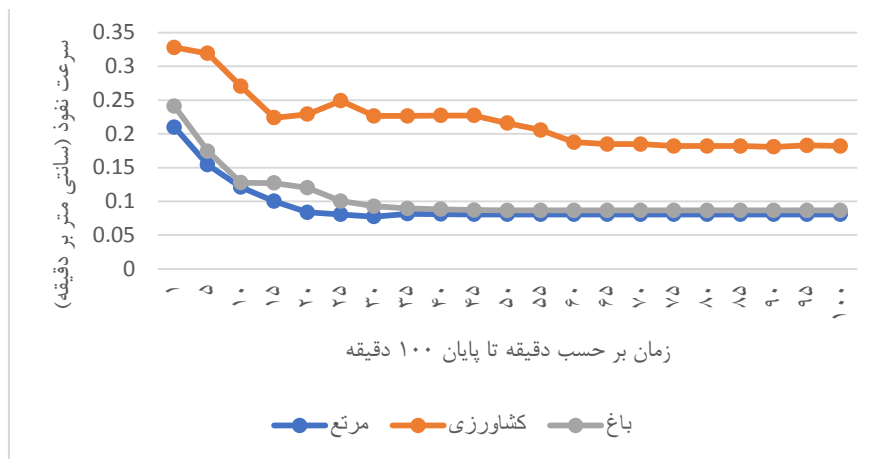
زمان تا لحظه تثبیت نفوذ (دقیقه)		سرعت نفوذ نهایی (سانتی‌متر بر دقیقه)		حداکثر سرعت نفوذ (سانتی‌متر بر دقیقه)		متوسط سرعت نفوذ (سانتی‌متر بر دقیقه)		نفوذ تجمعی (سانتی‌متر) تا زمان ۱۰۰ دقیقه		پارامترها
CL	SCL	CL	SCL	CL	SCL	CL	SCL	CL	SCL	بافت / کاربری
۰/۰۱۶	۰/۰۱	۰/۱۸	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۲۲	۰/۲۷	۲۲	۲۷	کشاورزی
۰/۰۲۱	۰/۰۲۳	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۱۱	۰/۱۷	۱۱	۱۷	باغ
۰/۰۲۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۱	۰/۱۲	۱۰	۱۲	مرتع

کلی لوم به ترتیب ۰/۲۷ و ۰/۲۲، ۰/۱۷ و ۰/۱۱، ۰/۱۲ و ۰/۱ می‌باشند. به‌طور کلی هرچه از کاربری کشاورزی به سمت باغ و مرتع می‌رویم از متوسط سرعت نفوذ، حداکثر سرعت نفوذ و سرعت نفوذ نهایی کاسته می‌شود. نتایج به‌دست آمده از مقایسه نفوذ تجمعی، متوسط سرعت نفوذ، حداکثر سرعت نفوذ و سرعت نفوذ نهایی در کاربری‌های مختلف با نتایج (۳۱) هم‌خوانی دارد.

در ادامه برای مقایسه کلی تغییرات سرعت نفوذ نسبت به زمان نیز اقدام به ترسیم نمودار آهنگ تغییرات نفوذ در هر سه کاربری در بافت مورد مطالعه نموده که در شکل ۲ آمده است.

مطابق مقادیر حاصله از جدول ۳، بیش‌ترین نفوذ تجمعی در کاربری کشاورزی در بافت‌های سیلتی کلی لوم و کلی لوم به ترتیب ۲۷ و ۲۲، در کاربری باغ ۱۷ و ۱۱ و در کاربری مرتع ۱۲ و ۱۰ می‌باشد. متوسط سرعت نفوذ با استفاده از رابطه (۸) محاسبه گردید که بر این اساس، مقدار آن در کاربری کشاورزی بیش‌تر از باغ و در باغ بیش‌تر از مرتع است.

رابطه (۸)  $I=CF/T$   
 در این رابطه I متوسط سرعت نفوذ، CF مقدار نفوذ تجمعی در کل مدت‌زمان اندازه‌گیری نفوذ و T کل زمان اندازه‌گیری محسوب می‌گردد. متوسط سرعت نفوذ، در کاربری کشاورزی، باغ و مرتع در بافت‌های سیلتی کلی لوم و



شکل ۳- آهنگ تغییرات متوسط سرعت نفوذ در هر سه کاربری در بافت کلی لوم

Figure 3. Average changes in infiltration rate in all three Land uses in the Clay loam tissue

میانگین مربعات، ضریب کارایی نش-سانتکلیف و ضریب تبیین استفاده شد که نتایج آن‌ها در جدول‌های ۶ الی ۸ آمده است.

پس از آن، ضرایب سه مدل نفوذ محاسبه گردید که در جدول‌های ۴ و ۵ مشاهده می‌گردد. به‌منظور مقایسه مدل‌های نفوذ در کاربری‌های کشاورزی، مرتع و باغ در دو بافت سیلتی کلی لوم و کلی لوم از معیارهای سنجش خطای، ریشه

جدول ۴- محاسبه ضرایب معادلات نفوذ در سه کاربری کشاورزی، باغ و مرتع در بافت سیلتی کلی لوم

Table 4. Influence equations coefficients calculation for three land uses of agriculture, garden and pasture in silty clay loam texture

نام مدل	کشاورزی	باغ	مرتع
مدل‌ها	سیلتی کلی لوم	سیلتی کلی لوم	سیلتی کلی لوم
کوستیاکوف	$I = 0.11 * t^{0.66}$	$I = 0.21 * t^{0.76}$	$I = 0.1 * t^{0.78}$
سازمان حفاظت آمریکا (SCS)	$I = 0.084 * t^{0.69} + 69850$	$I = 0.11 * t^{0.83} + 69850$	$I = 0.04 * t^{0.89} + 69850$
فیلیپ	$I = 0.26 * t^{0.5} + 0.026 * t$	$I = 0.81 * t^{0.5} + 0.18 * t$	$I = 0.49 * t^{0.5} + 0.11 * t$

جدول ۵- محاسبه ضرایب معادلات نفوذ در سه کاربری کشاورزی، باغ و مرتع در بافت سیلتی کلی لوم

Table 5. Influence equations coefficients calculation for three land uses of agriculture, garden and pasture in clay loam texture

نام مدل	کشاورزی	باغ	مرتع
مدل‌ها	کلی لوم	کلی لوم	کلی لوم
کوستیاکوف	$I = 0.14 * t^{0.83}$	$I = 0.17 * t^{0.73}$	$I = 0.16 * t^{0.73}$
سازمان حفاظت آمریکا (SCS)	$I = 0.08 * t^{0.89} + 69850$	$I = 0.06 * t^{0.84} + 69850$	$I = 0.05 * t^{0.85} + 69850$
فیلیپ	$I = 0.66 * t^{0.5} + 0.026 * t$	$I = 0.59 * t^{0.5} + 0.11 * t$	$I = 0.53 * t^{0.5} + 0.091 * t$

باغ بیش‌تر از مرتع است. که نشان‌دهنده دست‌خورده شدن و ورود دام در مرتع و لگدکوبی زیاد و سفت شدن و سله بستن خاک است، که در نهایت، باعث کاهش پوشش گیاهی و نفوذ آب در خاک شده و بالطبع سبب افزایش سیلاب و فرسایش، آلودگی محیط زیست، قحطی و خشکسالی می‌شوند. هم‌چنین در مورد کاربری کشاورزی بالا بودن مقادیر پارامترهای ذکر شده را می‌توان به زیاد بودن ماده‌الی و کم بودن جرم مخصوص ظاهری و رطوبت خاک نسبت به سایر کاربری‌ها ارتباط داد.

از آن‌جا که کمی کردن پدیده نفوذ آب به خاک در مدیریت منابع آب و حوزه‌های آبخیز، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (۱)، بنابراین، انواع مختلفی از مدل‌ها، با درجات مختلفی از پیچیدگی، برای رسیدن به این اهداف (کمی کردن پدیده نفوذ)، توسعه یافته‌اند. این مدل‌ها برای درک بهتر فرایند نفوذ طراحی شده‌اند و ابزاری برای ارزیابی مشکلات محیطی در کاربری‌های مختلف هستند. براساس نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر از جدول ۳ و شکل ۳، مقادیر نفوذ تجمعی، سرعت نفوذ نهایی، حداکثر سرعت نفوذ، زمان تا لحظه تثبیت نفوذ در کاربری کشاورزی بیشتر از کاربری باغ و در کاربری

جدول ۶- معیارهای سنجش خطا برای هر یک از مدل‌ها در کاربری کشاورزی

Table 6. Error measurement criteria for each model in Agricultural land use

مدل‌ها	ضریب کارایی نش-ساتکلیف		انحراف معیار		ریشه میانگین مربعات خطا		ضریب تبیین	
	CL	SCL	CL	SCL	CL	SCL	CL	SCL
کوستیاکوف	0.99	0.99	0.1	0.24	0.14	0.24	0.99	0.99
سازمان حفاظت آمریکا	0.99	0.99	0.28	0.28	0.3	0.24	0.99	0.99
فیلیپ	0.99	0.99	0.17	0.21	0.20	0.24	0.99	0.99

SCL: بافت سیلتی کلی لوم و CL: بافت کلی لوم

جدول ۷- معیارهای سنجش خطا برای هر یک از مدل‌ها در کاربری باغ

Table 7. Error measurement criteria for each model in Garden land use

مدل‌ها	ضریب کارایی نش-ساتکلیف		انحراف معیار		ریشه میانگین مربعات خطا		ضریب تبیین	
	CL	SCL	CL	SCL	CL	SCL	CL	SCL
کوستیاکوف	0.99	0.99	0.08	0.39	0.06	0.9	0.99	0.99
سازمان حفاظت آمریکا	0.99	0.99	0.24	0.33	0.15	0.31	0.99	0.99
فیلیپ	0.99	0.99	0.15	0.95	0.25	0.15	0.99	0.99

SCL: بافت سیلتی کلی لوم و CL: بافت کلی لوم

جدول ۸- معیارهای سنجش خطا برای هر یک از مدل‌ها در کاربری مرتع

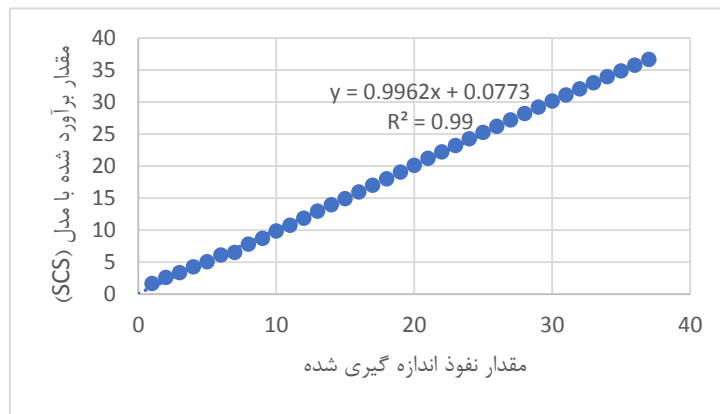
Table 8. Error measurement criteria for each model in Pasture land use

ضریب تبیین		ریشه میانگین مربعات خطا		انحراف معیار		ضریب کارایی نش-ساتکلیف		بافت‌ها	مدل‌ها
CL	SCL	CL	SCL	CL	SCL	CL	SCL		
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۹	۰/۱	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	کوستیاکوف	
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۹۹۷	۰/۹۹۷	سازمان حفاظت آمریکا	
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۹	۰/۳	۰/۰۸	۰/۰۸۱	۰/۹۹۸	۰/۹۸۹	فیلیپ	

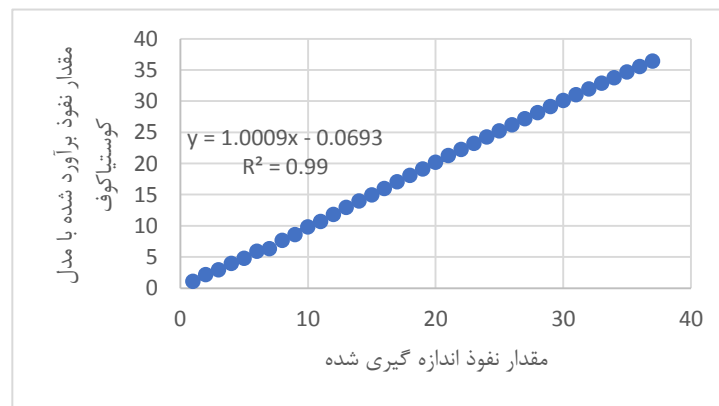
SCL: بافت سیلتی کلی لوم و CL: بافت کلی لوم

تجمعی استفاده، و پارامترهای برازشی هر یک از مدل‌های نفوذ را با استفاده از بهینه‌سازی غیرخطی به روش حداقل مربعات تعیین نمودند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که همه مدل‌ها در هر سه کاربری دارای ضریب تبیین بالای ۰/۹۸ و ۰/۹۹ و تفاوت خطای ناچیز بودند ایشان مدل کوستیاکوف-لوییز را بهترین مدل برای کمی کردن فرآیند نفوذ آب به خاک معرفی و بیان نمودند یکی از دلایل برتری این مدل بیش‌تر بودن تعداد پارامترهای آن نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشد.

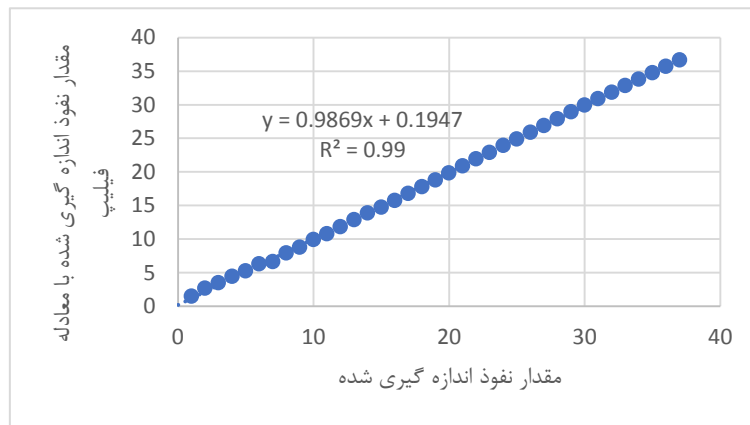
بیات‌ورکشی و همکاران (۴) نفوذ آب به خاک را با استفاده از استوانه دوگانه در دو خاک شخم‌خورده و شخم‌نخورده بررسی کرده و ۵ مدل برآوردکننده نفوذ (کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوییز، فیلیپ، سازمان حفاظت آمریکا و هورتون) را برازش دادند و به کارایی مدل نش-ساتکلیف و ضریب تبیین برای تمامی مدل‌ها در هر دو خاک دست یافتند. سعدی‌خانی و سهرابی (۲۹) نفوذ تجمعی آب به خاک را در سه کاربری زراعت، باغ و مرتع با استفاده از استوانه‌های دوگانه، اندازه‌گیری و مدل‌های نفوذ فیلیپ، سازمان حفاظت آمریکا، کوستیاکوف و کوستیاکوف-لوییز را در برآورد نفوذ



شکل ۴- مقدار نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده و برآوردی با فرمول سازمان حفاظت آمریکا در کاربری کشاورزی در بافت سیلتی کلی لوم  
Figure 4. Measured and estimated cumulative infiltration amount with SCS in Agricultural land use in Silty clay loam texture



شکل ۵- مقدار نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده و برآوردی با فرمول کوستیاکوف در کاربری کشاورزی در بافت سیلتی کلی لوم  
Figure 5. Measured and estimated cumulative infiltration amount with Kostiakov model in Agricultural land use in Silty clay loam texture



شکل ۶- مقدار نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده و برآوردی با فرمول فیلیپ در کاربری کشاورزی در بافت سیلتی کلی لوم  
Figure 6. Measured and estimated cumulative infiltration amount with Philip model in Agricultural land use in Silty clay loam texture

کوستیاکوف و پس از آن فیلیپ دارای کمترین میزان خطا هستند. در کاربری مرتع نیز مدل کوستیاکوف دارای کمترین ریشه میانگین مربعات خطا در هر دو بافت نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشد. در کاربری مرتع پس از مدل کوستیاکوف، مدل سازمان حفاظت آمریکا دارای کمترین میانگین مربعات خطا است. پرچمی عراقی و همکاران (۲۲) ضمن تعیین ضرایب مدل‌های نفوذ گرین و آمپ، فیلیپ، کوستیاکوف و کوستیاکوف اصلاح‌شده، مقادیر حاصل از این مدل‌ها را با داده‌های تجربی مقایسه کرده و با برآزش مدل‌های مختلف نفوذ و هم‌خوانی آن‌ها با مشاهدات تجربی نشان داد که مدل تجربی کوستیاکوف بهترین برآزش را با داده‌های به‌دست آمده در خاک منطقه دارد. نشاط و پاره‌کار (۲۱) و سپهوند و همکاران (۳۰)، با استفاده از روش استوانه‌های مضاعف در سطوح مختلف رطوبتی مدل‌های نفوذ را برآورد و بیان نمودند که مدل کوستیاکوف بهترین مدل در کاربری مرتع می‌باشد. سلیمانی و همکاران (۳۱) و لشنی‌زند و همکاران (۱۴) با استفاده از استوانه‌های مضاعف نفوذ آب به خاک را اندازه‌گیری و مدل‌های مختلف نفوذ را برآورد و بیان نمودند که مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا از کارایی بالایی در کاربری مرتع برخوردار است. در این پژوهش در کاربری باغ مدل کوستیاکوف دارای ضریب کارایی و تبیین ۰/۹۹ و کمترین ریشه میانگین مربعات خطا را دارا بوده است، در این رابطه محمدی و رفاهی (۱۹) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. آن‌ها از توابع انتقالی برای تخمین پارامترهای مدل‌های فیلیپ و کوستیاکوف استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که مدل کوستیاکوف با رگرسیون بالاتر و خطای کمتر، برآزش بهتری با داده‌های واقعی داشته است. به‌طور کلی در بین سه مدل خطای مدل سازمان حفاظت آمریکا قدری بالاتر بوده است. دلیل این امر را می‌توان به ضریب ثابت ۰/۶۹۸۵ نسبت داد که برای بافت‌ها و کاربری اراضی متفاوت این عدد ثابت در مدل لحاظ می‌شود و موجب خطا در برآورد میزان نفوذ می‌گردد (۸). بر اساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، میزان میانگین خطا در مدل کوستیاکوف نسبت به

شکل‌های ۴ الی ۶ ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده نفوذ در محل و مقدار برآوردی با ضرایب مدل‌ها حاصل از نرم‌افزار، برای کاربری کشاورزی در بافت سیلتی کلی لوم را نشان می‌دهد. شکل‌ها بیان می‌کنند که همبستگی بالایی بین مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده وجود دارد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که مدل‌های کوستیاکوف، فیلیپ و سازمان حفاظت آمریکا هر سه دارای کارایی بالایی در برآورد نفوذ تجمعی هستند. سلیمانی و همکاران (۳۱) نیز نفوذ آب به خاک را با استفاده از استوانه‌های مضاعف در سه کاربری اندازه‌گیری و با بررسی ۵ مدل برآورد نفوذ نشان دادند که مدل‌های سازمان حفاظت خاک آمریکا، کوستیاکوف و فیلیپ نسبت به سایر مدل‌ها ضریب تبیین و ضریب کارایی بالایی در هر سه کاربری داشته‌اند. کاووسی و همکاران (۱۲) با استفاده از استوانه‌های مضاعف نفوذ آب به خاک را در چهار کاربری اندازه‌گیری و با ارزیابی همبستگی و خطای مدل‌های نفوذ گرین آمپ، کوستیاکوف، سازمان حفاظت آمریکا و فیلیپ نشان دادند که مدل کوستیاکوف برای برآورد نفوذ آب به خاک دقت بهتری داشته است و مدل‌های سازمان حفاظت خاک، فیلیپ و گرین آمپ بعد از آن در رده‌های بعدی اول تا سوم قرار دارند. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که به‌طور کلی، در هر سه کاربری کشاورزی، باغ و مرتع مدل‌های سازمان حفاظت خاک آمریکا، کوستیاکوف و فیلیپ ضریب تبیین و کارایی بالا (۰/۹۹) و ریشه میانگین مربعات خطای پایینی هستند، اما مدل کوستیاکوف در هر سه کاربری خطای کمتری نسبت به سایر مدل‌ها داشته است. براساس آنچه که در جدول ۶ تا ۸ مشاهده می‌شود، در بافت سیلتی کلی لوم در کاربری کشاورزی هر سه مدل کوستیاکوف، سازمان حفاظت آمریکا و فیلیپ دارای ضریب کارایی ۰/۹۹، ضریب تبیین ۰/۹۹ و ریشه میانگین مربعات خطا ۰/۲۴ می‌باشند. در بافت کلی لوم در کاربری کشاورزی با ضریب تبیین و ضریب کارایی ۰/۹۹ مدل کوستیاکوف دارای کمترین میانگین مربعات خطا ۰/۱۴ و سپس فیلیپ ۰/۲ هستند. طبق جدول ۹ در کاربری باغ

استثنای بافت‌های لومی و لومی‌شنی که در آن مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا با میزان خطای کمتر مدل برتر بوده است. ملکی و همکاران (۱۷) نیز گزارش نمودند که مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا برازش خوبی با داده‌های تجربی دارد. نتایج محمدی و رفاهی (۱۹) نیز در خاک‌های لومی و لومی‌رسی نشان داد که مدل کوستیاکوف بهترین عملکرد را در برآورد مقدار نفوذ دارا می‌باشد. قربانی دشتکی و همکاران (۸) گزارش نمودند که مدل فیلیپ کارایی بهتری نسبت به مدل کوستیاکوف دارد، با توجه به نتیجه این پژوهش هر سه مدل کارایی بالایی برای برآورد نفوذ داشته‌اند. به‌طور کلی جمع‌بندی تحقیقات قبلی، حاکی از آن است که تحقیقات مختلف دارای نتایج ضد و نقیضی بوده است که این تضاد به‌دلیل طبیعت تغییرپذیری فرآیند نفوذ می‌باشد، به‌طوری که یک مدل نفوذ در دو خاک مشابه از نظر خصوصیات فیزیکی، ممکن است دارای عملکرد متفاوت باشد (۸،۳۲).

دو مدل دیگر کمتر است. ضریب تبیین و ضریب کارایی در مدل کوستیاکوف بالاتر می‌باشد ولی با توجه به میزان خطا به‌دست آمده دقت این معادله در کاربری کشاورزی کمتر است. در مدل فیلیپ چون ضریب سوم را برابر با سرعت نفوذ پایه در خاک لحاظ کردیم نسبت به مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا خطای کمتر و دقت بالاتری داد. در کاربری مرتع میزان مربعات خطا به‌طور متوسط در هر دو بافت در هر سه مدل نفوذ کمتر شده است دلیل این امر را می‌توان به دست‌نخورده‌تر بودن این کاربری نسبت به کاربری کشاورزی و باغ ارتباط داد. در مقایسه بین بافت‌ها نیز به‌طور کلی می‌توان گفت که هر سه مدل دارای ضریب کارایی و تبیین بالا بودند اما مدل کوستیاکوف با اختلاف کم دارای بیشترین ضریب تبیین و کارایی و کمترین ریشه میانگین مربعات خطا نسبت به سایر مدل‌ها، در رتبه اول قرار دارد. کاووسی و همکاران (۱۲) در مقایسه بین بافت‌ها نشان دادند که در همه بافت‌ها مدل کوستیاکوف در رده نخست قرار گرفت، به

## منابع

- Ahmadnejad, A.R., S.H. Golmaei and M.Z. Ahmadi. 2010. Simulation Rainfall- Runoff Processes and Water Balance Component in Rivers Basin (Case Study: Korkorsar River Basin). *Journal of Water Management Research*, 1(1): 74-87 (In Persian).
- Argyrokastritis, I. and P. Kerkides. 2003. A Note to the Variable Sorptivity Infiltration Equation. *Water Resources Management*, 17: 133-145.
- Bagarello, V. and A. Sgroi. 2007. Using the simplified falling head technique to detect temporal changes in field-saturated hydraulic conductivity at the surface of a sandy loam soil. *Soil & Tillage Research*, 94: 283-294.
- Bayatvarkeshi, M., H. Zareabyaneh, A.G. Firouzabadi and V. Karimi. 2017. Optimization of infiltration models coefficients in fields of Haraz extension and technology development center. *Journal of Watershed Management Research*, 8(16): 90-99 (In Persian).
- Bouwer, H. 1986. Intake rate. Cylinder infiltrometer. In: Klute A. (Eds), *Methods of soil analysis*. Part 1. America Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin USA, 825-843.
- Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, 54: 464-465.
- Ghorbani Dashtaki, S., M. Homaeae and M.H. Mahdian. 2010. Effect of Land Use Change on Spatial Variability of Infiltration Parameters. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 4: 193-205.
- Ghorbani Dashtaki, S., M. Homaeae, M. Mahdian and M. Kouchakzadeh. 2009. Site dependence performance of infiltration models. *Water Resource Management*, 23: 2777-2790.
- Green, W.H. and G.A. Ampt. 1911. *Studies in Soil Physics: I. the Flow of Air and Water Through Soils*. *Journal of Agriculture Science*, 4: 1-24.
- HatamiGolmakani, P., V.B. Sheikh and M. Hosseinalizadeh. 2017. The effect of measurement methods on saturated hydraulic conductivity in eastern loess lands of Golestan province. *J. of Soil Management and Sustainable. Production*, 6(4): 87-102 (In Persian).
- Horton, R.E. 1940. An Approach Toward to Physical Interpretation of Infiltration Capacity. *Soil Science Society of America Journal*, 5: 399-417.
- Kavousi, S.S., M. Vafakhah and M.H. Mahdian. 2013. Evaluation of Some Infiltration Models for Different Land Uses in Kojour Watershed. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 4(13): 1-13 (In Persian).
- Kostiakov, A.N. 1932. On the Dynamic of Coefficient of Water-Percolation in Soils and on the Necessity for studying it from a Dynamic Point of View for Purposes of Amelioration. *Transactions of 6th Congress of International Soil Science Society, Moscow, Part A*, 17-21.
- Lashani Zand, M., A. Sepahvand and M. Taei Semiromi. 2012. The Comparison of Infiltration Models in OrdertoDetermine the Best Estimators of Infiltration Rate in the Rangeland and Woodland Land Uses (Case Study: Davood Rashid Watershed Lorestan Province). *Journal of Natural Ecosystems of Iran*, 2: 11-23 (In Persian).
- Lin, H.S., K.J. McInnes, L.P. Wilding and C.T. Hallmark. 1999. Effects of soil morphology on hydraulic properties: II. Hydraulic pedotransfer functions. *Soil Science Society of America Journal*, 63: 955-961.

16. Loaiciga, H.A. and A. Huang. 2007. Pounding Analysis with Green-Ampt Infiltration. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12: 109-112.
17. Maleki, A., M. Behzad and M. Brumand Nasab. 2004. Determination and Evaluation of Infiltration models coefficients in Sugarcane Lands of South Ahvaz. *Scientific Journal of Agriculture*, 31: 27-46 (In Persian).
18. Mesri, S., S.H. Ghorbani Dashtaki, H. Shirani, A. Kamkar Rohani and H.M. Motaghian. 2020. Hydraulic conductivity estimation using different decision tree modeling scenarios. *Iranian Journal of Soil Research*, 34(1): 143-155 (In Persian).
19. Mohammadi, M.H. and H. Refahi. 2005. Estimating Parameters of infiltration equations using soil physical properties. *Journal of Agricultural Science*, 36(6): 1391-1398 (In Persian).
20. Mukheibir, P. 2008. Water Resources Management Strategies for Adaptation to Climate-Induced Impacts in South Africa. *Water Resources Management*, 22: 1259-1276.
21. Neshat, A. and M. Parekar. 2007. The comparison of methods for determining the vertical infiltration rate. *Journal of Agriculture Science Natural Resources*, 14(3): 186-195 (In Persian).
22. Parchami Araghi, F., S.M. Mirlatifi, S.H. Ghorbani Dashtaki and M.H. Mahdian. 2010. Evaluation of Some Soil Infiltration Models in Some Soil Texture Classes and Land Use. *Irrigation and Drainage of Iran*, 4(2): 193-205 (In Persian).
23. Rachman, S. 1992. Infiltration under different land use types at the upper ciliwung watershed of West Java, Indonesia. A Thesis Degree of Master, University of Canberra, 141 pp.
24. Reddy, K.S., V. Maruthi and B. Umsha. 2015. Influence of super absorbent polymers on infiltration characteristics of Alfisols in Semi-Arid region. *Indian Journal Dryland Agriculture Research & Development*, 30(2): 11-16.
25. Reynolds, W.D. 1993. Saturated hydraulic conductivity: field measurement. In: Carter, M. R. (Eds), *Soil Sampling and Methods of analysis*. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers, Boca Raton, 599-613.
26. Reynolds, W.D. and D.E. Elrick. 1990. Ponded infiltration from a single ring: I. Analysis of steady state flow. *Soil Science Society of America Journal*, 54(5): 1233-1241.
27. Reynolds, W.D., B.T. Bowman, R.R. Brunke, C.F. Drury and C.S. Tan. 2000. Comparison of infiltration meter, pressure infiltration meter, and soil core estimates of saturated hydraulic conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 64(2): 478-484.
28. Reynolds, W.D., D.E. Elrick and E.G. Youngs. 2002. Ring or cylinder infiltrometers (vadose zone). In: Dane, J. H. and G. C. Topp (Eds), *Methods of soil analysis, Part 4. Physical methods*, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin USA, 818-826.
29. Sadikhani, M.R. and A. Sohrabi. 2017. Effect of land use on the performance of selected soil water infiltration models. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 7(1): 127-138 (In Persian).
30. Sepahvand, A., M. Taei Semiromi, S.K. Mirnia and H.R. Moradi. 2011. Assessing the Sensitivity of Infiltration Models to Variability of Soil Moisture. *Journal of Water and Soil*, 25: 338-346 (In Persian).
31. Soleimani, L., A. Haghizade and H. Zeinivand. 2016. Overview Comparing the Various Models to Estimate Soil Permeability, 7th National Geological Conference, Lorestan Payame Noor University, 125-126 (In Persian).
32. Sy, N.L. 2006. Modeling the infiltration process with a multi-layer perceptron artificial neural network. *Hydrology Science Journal*, 51(1): 3-20.
33. Turner, E.R. 2006. Comparison of Infiltration Equations and Their Field. Validation with Rainfall Simulation. M.Sc. Thesis, University of Maryland, USA, 202 pp.
34. Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science Journal*, 37: 29-38.
35. Weiler, M. 2005. An Infiltration Model Based on Flow Variability in Macro Pores: Development, Sensitivity Analysis and Applications. *Journal of Hydrology*, 310: 294-315.
36. Yamin moshrefi, G., A. Maroofpour, B. Bahramnejad and A. Farabi. 2008. Examine the infiltration process using dual and single abilities. Third Conference of Agricultural Research and natural Resources. Sannadaj, Iran (In Persian).

## The Determination of Infiltration in Various Land uses in Marghmalek and Shahrekord Watersheds

Samira Mesri<sup>1</sup>, Shojae Ghorbani Dashtaki<sup>2</sup>, Hossein Shirani<sup>3</sup>, Abolghasem Kamkarrohani<sup>4</sup> and Hamid Reza Motaghian<sup>5</sup>

---

1- Ph.D. Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Shahrekord, Iran  
(Corresponding author: dorsa\_mesry@yahoo.com)

2- Professor, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Shahrekord, Iran

3- Professor, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Rafsanjan, Iran

4- Associate Professor, Mining Engineering- Geophysics Department, Faculty of Agriculture University of Shahroud, Iran

5- Assistant Professor, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Shahrekord, Iran

Received: August 17, 2019

Accepted: January 12, 2021

---

### Abstract

One of the most important hydraulic parameters affecting soil quality is the infiltration of water into the soil. That, the direct measurement of infiltration process is difficult, time spending and expensive. Infiltration models play the main role in managing watershed. Therefore, it is necessary to study different infiltration models in order to compare and achieve the best infiltration model in the area. This research determined the best infiltration estimation model in the pasture, garden, agricultural land uses (in two textures of silty clay loam and clay loam), in the Charmahal and Bakhtiari province. In this study, infiltration measurements were carried out using the infiltrometer single ring (to the inner diameter 35 cm). The initial humidity measured were respectively in pasture land use in silty clay loam and clay loam tissues (3.71, 4.27), in garden land use (2.18, 3.46) and, in agriculture land use (1, 2.25). and then infiltration models of Philip, Kostiakov and Soil Conservation Service of America (SCS), used and thus evaluated by the coefficient of determination ( $R^2$ ), Nash-Sutcliffe sufficiency score (NSSS), root mean squared error (RMSE) and mean error (ME). The results of this study showed that in rangeland use, the infiltration of all parameters (cumulative infiltration, the final infiltration rate and infiltration rate), is less than the garden and agriculture land use. It also compares the models, in the rangeland, but Kostiakov Model was accepted as the appropriate model in the garden, pasture and agricultural land use (in two soil texture), by Nash-Sutcliffe efficiency coefficient 0.99 and  $R^2$  (0.99) and a smaller error than other models. The next good models that had high efficiency were the Philip model by Nash-Sutcliffe efficiency coefficient and ( $R^2=0.99$ ) and an error of (0.15) in garden land use in silty clay loam texture, and the SCS model in pasture land (in SCL texture) with an error of 0.18.

**Keywords:** Infiltration, Kostiakov, Land Use, Philip, Single Rings, Soil conservation service of America